

УДК 681.324

Барабаш Олег Володимирович (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-5030-2580>

Кіреєнко Володимир Володимирович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-0230-9450>

Коломієць Юрій Миколайович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-9767-0750>

Базіло Сергій Михайлович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СКЛАДНОСТІ СИСТЕМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ ЗА НЕНАВАНТАЖЕНИМ ГРАФОМ

У статті розглянуті загальні підходи до визначення структурної складності системи радіолокаційної розвідки. Наведено аналіз можливих заходів, які спрямовані на підвищення ефективності системи та показана доцільність оцінки структурної складності. Наведені показники структурної стійкості, як кількісна міра зв'язності структури системи радіолокаційної розвідки (СРР): вузлова зв'язність, узагальнена зв'язність, мінімальний розтин. Запропонований підхід оцінювання та підвищення структурної стійкості СРР, який базується на реконфігурації структури після впливу дестабілізуючих факторів. Для комплексного вирішення загальної проблеми проектування систем передачі даних і вирішення часткових завдань оптимізації структури при синтезі систем, в статті запропонована оптимізація топології системи методом випадкового пошуку і методом дерева структур.

Ключові слова: структурна складність, зв'язність структури, система радіолокаційної розвідки, система передачі даних.

Вступ

При побудові автоматизованих систем управління та систем передачі даних виникає необхідність оцінки ефективності їх структури за критерієм складності. Для дослідження структурної складності системи передачі даних (СПД) системи радіолокаційної розвідки (СРР) її структура представляється у вигляді орієнтованого графу. При цьому складність графа залежить від числа вершин графа, числа його дуг і контурів. Відтак стає можливим використання традиційних методів теорії графів для оцінки структурної складності СРР. Найважливішою особливістю СРР є її велика розмірність, через що поведінка важко піддається кількісному аналізу. У технічному плані система радіолокаційної розвідки оснащена радіолокаційними, обчислювальними та іншими засобами, що в свою чергу вимагає швидкого аналізу мережевих ситуацій і вироблення рішень щодо перенаправлення потоків для усунення перевантажень.

Недоліки існуючих методів і алгоритмів, що дозволяють оцінювати ефективність функціонування СРР не повною мірою відображають зміни в структурі СРР в умовах дії дестабілізуючих факторів. Це вимагає розробки (удосконалення) теоретичного апарату оцінки структурної складності СПД СРР.

Аналіз літератури [1-6] в цій області показав, що існуючі підходи до побудови складних організаційно-технічних систем, а такою є система радіолокаційної розвідки, не повною мірою забезпечують раціональне використання апаратної, програмної, часової та іншої

надмірності з метою відновлення її роботи.

Складність системи радіолокаційної розвідки, насиченість різноманітними за призначенням, принципом дії і конструктивним виконанням комплектуючих систем та елементів з різними показниками якості викликають труднощі в оцінці її ефективності. Система і всі її складові частини характеризуються станом в просторі та часі. Кожній конкретній системі, у тому числі й системі радіолокаційної розвідки, властивий певний набір параметрів і характеристик, що визначає її поведінку та функціонування у взаємодії із зовнішнім середовищем і внутрішніми змінами. В ряді робіт при порівнянні варіантів технічних рішень застосовуються комплексні показники, наприклад, «ефективність – вартість» або «ефективність – вартість – час» [7]. Набувають актуальності інші підходи до оцінки ефективності, які засновані на системному аналізі, а саме на розгляді оцінки структурної складності великих організаційно-технічних систем.

Метою статті є оцінка структурної складності СПД СРР.

Методи

Ведучи мову про функціональну стійкість системи радіолокаційної розвідки (СРР) будемо вважати функціональну стійкість системи передачі даних (СПД) СРР про повітряну обстановку, як матеріальну та інформаційну основу СРР, яка включає засоби збору обробки та передачі інформації і від структурної організації якої залежить функціональна стійкість СРР взагалі.

Система радіолокаційної розвідки має свої особливості, обумовлені специфікою їх

застосування. Важливість і відповідальність задач, розв'язуваних за допомогою СРР у реальному масштабі часу, обумовили високі вимоги до надійності системи. Аналіз робіт [5,6 та ін.] дозволили зробити висновок щодо властивостей за якими характеризуються складні системи, а саме: надійність, відмовостійкість, живучість не характеризують того, що розуміється під функціональною стійкістю.

Обчислювальні мережі великої розмірності, зокрема, система передачі даних про повітряну обстановку – зручний об'єкт застосування теорії структурної складності. Він дозволяє здійснювати опис СРР, як великої складної системи з подальшим виробленням обґрунтованих рішень щодо обслуговування і планування її експлуатації. Спираючись на основні положення теорії графів пропонується методика оцінки структурної складності СРР, вводяться критерії та показники оцінки складності структури.

Результати

Оцінку складності структури СРР починаємо з дослідження її моделі на ненавантаженому орієнтованому графі. Для моделювання структури СРР скористаємось графовим її поданням, як найбільш поширеною та зручною формою подання структур взагалі [7, 8].

Нехай дана структура, яку можна описати орієнтованим графом $S=(V,E)$, у якій $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множина вершин, а $E=\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – множина дуг; $e_i=(\underline{e}_i \rightarrow \bar{e}_i)$, $i=\overline{1,m}$ – дуга, що має початок у вершині з індексом \underline{e}_i і кінець у вершині \bar{e}_i . Структурна складність системи S може бути охарактеризована показником $Sk(S)$, за допомогою якого мережі S в однозначну відповідність ставиться ціле невід'ємне число $Sk(S) \rightarrow [0; +\infty)$, причому таке, що чим більше $Sk(S)$, тим структура S є складнішою. Нульова складність відповідає поняттю «проста (елементарна) структура». На рисунках вершини структури будемо представляти у вигляді прямокутника з номером вершини, без букви «v». Дуги позначаються стрілками. Шлях у мережі будемо позначати у вигляді послідовності номерів вершин, з'єднаних стрілками, наприклад $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$.

На рис. 1 наведено положення структур системи у порядку зростання структурної складності. Зокрема на рис. 1 показано, що структура S_1 , яка складається лише з однієї дуги й двох вершин, має складність, $Sk(S_1)=0$. Структури S_2-S_5 – розташовані на шкалі в порядку зростання $Sk(S_i)$.

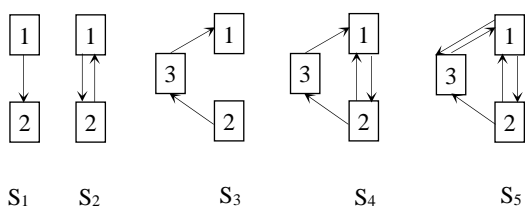


Рисунок 1. Ранжування елементарних структур

за шкалою складності

Структурну складність СРР можна оцінити за найпростішою кількісною характеристикою, наприклад, за числом дуг m . Тому перший показник структурної складності позначимо $Sk^1(S)$ й запишемо у вигляді

$$Sk^1(S) = m \quad (1)$$

Надамо деякі пояснення перед описом СРР у вигляді графу, а саме, під номерами вершин будемо розуміти радіотехнічні батальйони (ртб), окремі радіолокаційні роти (орлр), дуги (ребра) – канали передачі радіолокаційної (бойової) інформації.

Розглянемо структури S_A, S_B, S_C на рис. 2. Якщо у якості показника структурної складності обрати число дуг m , то тоді, розглядаючи структури на рис. 2., найбільш складною буде кільцева структура S_A . З іншого боку, структура S_C має більш складну структуру в порівнянні з кільцями як сильнозв'язних орієнтованих графів: орієнтований граф S_A є кільцем, якщо він сильнозв'язний [9,10], і число дуг дорівнює числу вершин.

Аналіз рис. 2 вказує на те, що структурна складність зростає з ростом числа вершин.

Таким чином число дуг структури m може являтися критерієм структурної складності. Однак показник $Sk^1(S)$ непридатний для ранжирування елементів окремо взятої серії однотипних структур, якщо ми знаємо, що число дуг монотонно зростає з ростом числа вершин при їх лексиграфічному переборі губиться зміст використання поняття «структурна складність».

Розглянемо іншу кількісну характеристику структури системи – число елементарних контурів K .

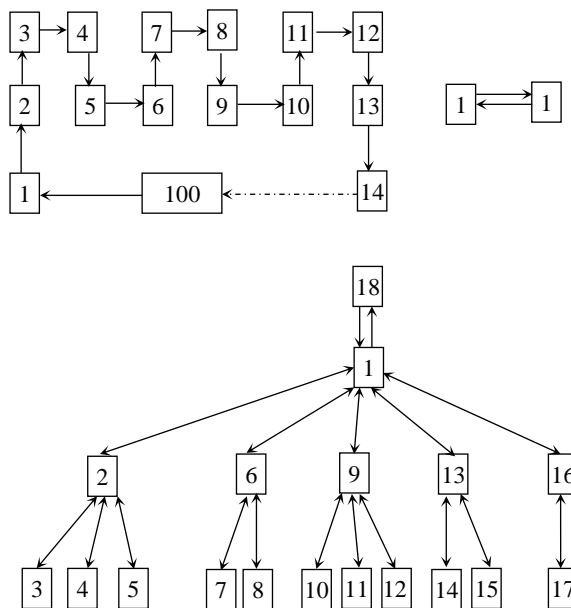


Рисунок 2. Приклади типових структур СПД в тому числі системи радіолокаційної розвідки ртбр

Для знаходження числа контурів K потрібно спочатку виявити всі можливі обходи всіх вершин

структури.

Далі серед них треба виявити обходи з повторенням вершин (наприклад, нехай $n=7$, і знайдено обхід $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \rightarrow 6$ тоді однократно повторена вершина 1; відкинути вершини, що слідує за повтором і зібрати отримані в такий спосіб неповні обходи в допоміжну множину T_d , з якої потім виключити еквівалентні обходи (наприклад, обходи $3 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ і $2 \rightarrow 3 \rightarrow 2$ є еквівалентними).

Тоді потужність множини T_d після такої корекції буде дорівнювати шуканому K – шуканій множині контурів досліджуваного орієнтованого графа.

Отже, другий показник складності структури має вигляд

$$Sk^II(S) = K \quad (2)$$

Конттури орієнтованого графа зручно помістити в бінарну матрицю із числом рядків, рівним числу контурів та з числом стовпців, рівним числу дуг:

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & \dots & c_{1m} \\ \dots & c_{ij} & \dots \\ c_{k1} & \dots & c_{km} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Елементи матриці \underline{C} набувають значень з проміжку $[0;1]$, де одиниця відповідає входженню j дуги в i елементарний контур. У структурі S_C виявлено 23 конттури. У табл. 1 дуги наведені у лексикографічному порядку (за зростанням індексів вершин з пріоритетом початкової вершини), а конттури – відповідно до алгоритму Джонсона.

На рис. 2 представлені структури, на прикладі яких легко перевірити, чи може число K бути критерієм структурної складності системи радіолокаційної розвідки.

Якщо K – критерій структурної складності, тоді структура S_C CPP є більш складною, ніж структури S_A і S_B , а структурна складність систем S_A і S_B однакова ($K=1$).

Висновок очевидний: число K не можна використовувати як критерій структурної складності для CPP, тому що, принаймні, будь-які ненавантажені кільця в цьому випадку однаково складні, а це вступає в протиріччя з визначенням структурної складності ненавантажених кілець.

Ведемо наступний показник (комбінований) оцінки структурної складності систем

$$Sk^III(S) = Sk^I(S)Sk^II(S) = mK \quad (4)$$

Показник $Sk^III(S)$ відповідає визначенню складності незважених кілець. Для прикладів на рис. 2. складність структур S_A , S_B , S_C є різною:

$$Sk^III(S_A) = 100 \times 1 = 100,$$

$$Sk^III(S_B) = 2 \times 1 = 2,$$

$$Sk^III(S_C) = 34 \times 22 = 748$$

Таким чином вираз (4) являє собою згортку

показників $Sk^I(S)$ та $Sk^II(S)$. При цьому більші значення за одним з показників можуть компенсувати менші значення за іншим, що є відомим недоліком майже всіх згорток подібного виду.

Висновки

Розробка теоретичних основ оцінки складності структури орієнтованого навантаженого графа дозволяє швидко та ефективно оцінювати різноманітні структури СПД CPP з точки зору їх придатності до удосконалення та прогнозованості поведінки у разі виникнення позаштатних ситуацій.

Запропонований підхід оцінки структурної складності СПД CPP через матриці складності дозволяє врахувати кількість зв'язків, контурів, що є дуже важливим при оцінці та оптимізації великих і розгалужених структур [10]. При обчисленні показників структурної складності враховуються оцінки пріоритетності дуг – число контурів, що проходять через дугу; вага дуги; індекс початку та кінця дуги.

В подальших дослідженнях щодо оцінки складності структури СПД CPP буде проведена оцінка за навантаженим орієнтованим графом.

Список використаних джерел

1. Губко М. В. Математические модели оптимизации иерархических структур. – М.: ИПУ РАН, 2006. – 264 с.
2. Дмитриев С. П. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем. – СПб.: Электроприбор, 2004. – 208 с.
3. Kireienko V.V., Brabash O. V., Salanda I.P. Methods and algorithms of ensuring of functional persistence of subsystem of information exchange in the system of airspace control. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IX(31), 2021 Feb. Budapest, Hungary Pages 1776 – 1779
4. Barabash O.V. Sintez strukturyi seti peredachi daniyih avtomatizirovannoy sistemyi upravleniya po parametram zhivuchesti. // MaterIali vIyskovo-naukovoyi konferentsiyi "Naukovi problemi shturmanskogo zabezpechennya v suchasniy umovah". Kyiv: NAOU, 2002. – S.61 – 63.
5. Barabash O. V. Postroenie funktsionalno ustoychiviyih raspredelennyih informatsionnyih sistem. K.: NAOU, 2004. – 226 s.
6. Кравченко Ю. В. Оцінка структурної складності мережі у вигляді навантаженого орграфу. Матеріали науково-практичного семінару «Інформаційні технології у військовій сфері». – К.: НУОУ, 2010. – Вип. 3. – С. 10 – 25.
7. Barabash O. V., Open'ko P.V., Kireienko V.V. Prospects of development of antiaircraft missile troops technical support system. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2021. №73. –С. 12 – 17.
8. Неділько С. М. Актуальність забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом. Матеріали V Міжднар. науково-практ. конф. "Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем", 27-28 жовтня 2010 р. – Кіровоград: Вид-во ДЛАУ, 2010. – С. 3 – 6.
9. Оре О. Графы и их приложение / М.: Эдиториал, 2003. – 340 с.
10. Пападимитриу Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / К. Стайглиц. – М.: Мир, 2000. – 510 с.

THE ORETICAL BASICS OF DETERMINING STRUCTURAL COMPLEXITY OF THE RADIO-LOCATION INTELLIGENCE SYSTEM ACCORDING TO AN UNLOADED GRAPH

Oleg Barabash (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-5030-2580>

Volodymyr Kireienko (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-0230-9450>

Yurii Kolomiets (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-9767-0750>

Sergiy Bazilo (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine

The article discusses general approaches to determining the structural complexity of a radar reconnaissance system. An analysis of possible measures aimed at increasing the efficiency of the system is given, and the feasibility of assessing the structural complexity is shown. Indicators of structural stability are presented as a quantitative measure of the connectivity of the structure of the radar reconnaissance system (RRS): nodal connectivity, generalized connectivity, minimal dissection. The proposed approach of assessing and improving the structural stability of the RRS, which is based on the reconfiguration of the structure after exposure to destabilizing factors. To study the structural complexity of the SRR, its structure is associated with the concept of "directed graph".

Keywords: *structural complexity, structural connectivity, radar intelligence system, data transmission system.*

References

1. Gubko M. V. Matematicheskie modeli optimizatsii ierarhicheskikh struktur. – M.: IPU RAN, 2006. – 264 s.
2. Dmytryev S. P. Ynformatsyonnaia nadezhnost, kontrol y dyahnostyka navyhatsyonnykh system. – SPb.: Elektropybor, 2004. – 208 s.
3. Kireienko V.V., Brabash O. V., Salanda I.P. Methods and algorithms of ensuring of functional persistence of subsystem of information exchange in the system of airspace control. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, IX(31), 2021 Feb. Budapest, Hungary Pages 1776 – 1779
4. Barabash O.V. Syntez struktury sety peredachy dannykh avtomatyzirovannoi systemy upravleniya po parametram zhyvuchesty. // Materialy viiskovo-naukovoi konferentsii "Naukovi problemy shturmanskoho zabezpechennia v suchasnykh umovakh". Kyiv: NAOU, 2002. – S.61 – 63.
5. Barabash O. V. Postroyeniye funktsionalno ustoichyvykh raspredelennykh ynformatsyonnykh system. K.: NAOU, 2004. – 226 s.
6. Kravchenko Yu. V Otsinka strukturnoi skladnosti merezhi u vyhliadi navantazhenoho orhradu. Materialy naukovopraktychnoho seminaru «Informatsiini tekhnolohii u viiskovii sferi». – K.: NUOU, 2010. – Vyp. 3. – S. 10 – 25.
7. Barabash O. V., Open'ko P.V., Kireienko V.V. Prospects of development of anti-aircraft missile troops technical support system. Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. K.: VIKNU, 2021. №73. –S. 12 – 17.
8. Nedilko S. M. Aktualnist zabezpechennia funktsionalnoi stiikosti avtomatyzovanoi systemy upravlinnia povitrianykh rukhom. Materialy V Mizhdnar. naukovoprakt. konf. „Suchasni informatsiini tekhnolohii v upravlinni ta profesiinii pidhotovtsi operatoriv skladnykh system”, 27-28 zhovtnia 2010 r. – Kirovohrad: Vyd-vo DLAU, 2010. – S. 3 – 6.
9. Ore O. Grafyi i ih prilozhenie / M.: Editorial, 2003. – 340 s.
10. Papadimitriou H. Kombinatornaya optimizatsiya. Algoritmy i slozhnost / K. Stayglits. – M.: Mir, 2000. – 510 s.